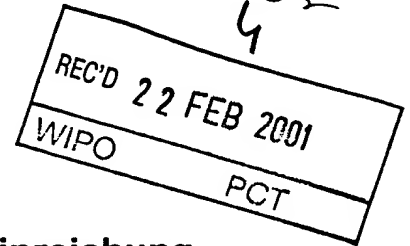


BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DE 00/4089 09/914394

31/5
210**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 199 55 747.0

Anmeldetag: 19. November 1999

Anmelder/Inhaber: Osram Opto Semiconductors GmbH & Co OHG,
Regensburg/DE

Bezeichnung: Optische Halbleitervorrichtung mit Mehrfach-
Quantentopf-Struktur

IPC: H 01 L, H 01 S

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 9. Februar 2001
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Weinert

**PRIORITY
DOCUMENT**SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1 (a) OR (b)

Beschreibung

Optische Halbleitervorrichtung mit Mehrfach-Quantentopf-Struktur

5

Die Erfindung betrifft eine optische Halbleitervorrichtung mit Mehrfach-Quantentopf-Struktur, in der Topfschichten und Sperrschichten aus verschiedenen Arten von Halbleiterschichten abwechselnd geschichtet sind.

10

Eine derartige Vorrichtung ist beispielsweise aus der EP 0 666 624 B1 oder aus Journal of Crystal Growth 189/190 (1998) p. 786-789 bekannt.

15

Der hohe Quantenwirkungsgrad von Indium-Gallium-Nitrid- (InGaN-)-basierten LEDs und Laserdioden wird durch das selbstorganisierte Wachstum indiumreicher Inseln im aktiven Quantentrog oder Quantentopf verursacht. Dadurch werden die injizierten Ladungsträger räumlich an diesen Inseln lokalisiert und von nichtstrahlender Rekombination an Gitterdefekten abgehalten.

20

Die Nukleation dieser Quantenpunkte muß durch geeignete Pufferschichten eingeleitet werden. Insbesondere eignen sich indiumhaltige Strukturen vor der eigentlichen aktiven Zone als Pufferschicht. Indiumhaltige nitridische Halbleiter ($\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{In}_{1-(x+y)}\text{N}$ -Halbleiter) neigen zur Entmischung und Bildung von indiumhaltigen Phasen. Dies führt an der Wachstumsfläche zu variierenden Spannungsfeldern, die die Bildung indiumreicher Inseln im aktiven Quantentrog begünstigt. Ca. 100 nm dicke GaInN-Schichten können vor der aktiven Zone abgeschieden werden, um die GaInN-Quantenpunkt-Nukleation zu verbessern.

25

30

Bisher kann ein optimaler Wirkungsgrad mit 4-fach-Quantentopf-Strukturen erreicht werden. Wie experimentell gezeigt werden kann, werden die emittierten Photonen ausschließlich in den beiden obersten (d.h. der p-Seite nächsten) Quantentrögen erzeugt. Bei geeigneter Wahl der Wachstumsparameter kann man erreichen, daß die Emission ausschließlich im obersten Quantentopf erfolgt. Die unteren Quantentöpfe dienen zur Verbesserung der Nukleation der GaInN-Inseln im obersten Quantentopf. Wird auf sie verzichtet, so sinkt die optische Ausgangsleistung um über 50 % ab. Allerdings führen diese Quantentöpfe zu einer erheblichen Erhöhung der Flußspannung. Die Flußspannung kann durch Verringern der Topfanzahl auf Kosten der Quanteneffizienz verbessert werden. Die Piezofelder, die zur beobachteten Erhöhung der Flußspannung führen, können durch hohe Dotierniveaus im Quantentopfbereich unterdrückt werden. Dadurch wird allerdings die Kristallqualität der aktiven Schicht gestört und so die interne Quanteneffizienz verringert.

20

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine optische Halbleitervorrichtung der eingangs genannten Art demgegenüber zu verbessern.

25

Diese Aufgabe löst die Erfindung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1. Ausgestaltungen der Erfindung sind in Unteransprüchen gekennzeichnet.

30

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels mit Hilfe der Figuren der Zeichnung näher erläutert.

Es zeigen:

- Figur 1a,b eine schematische Darstellung des Schichtaufbaus einer Vorrichtung gemäß der Erfindung,
Figur 2 eine schematische Darstellung der Quantentopfstruktur der Vorrichtung gemäß Figur 1 und
5 Figur 3 eine schematische Darstellung der Quantentopfstruktur üblicher Art.

Gemäß Figur 1a ist auf einem Substrat 1 aus Siliziumcarbit (SiC), an dem eine Elektrode 2 angeschlossen ist, zunächst
10 eine Pufferschicht 3 aus Aluminium-Gallium-Nitrid (AlGaN) gebildet. Darüber schließt sich eine weitere Schicht 4 aus Aluminium-Gallium-Nitrid an. Über der Schicht 4 sind eine weitere Pufferschicht 5 aus Silizium-dotiertem Galliumnitrid und darüber ist die noch näher zu erläuternde Quantentopf-
15 Struktur 6a,b angeordnet, an die die eigentliche aktive Schicht 6c anschließt. Über der aktiven Schicht 6 ist eine weitere Schicht 7 aus Aluminium-Gallium-Nitrid angeordnet, die als Elektronenbarriere dient. Vorzugsweise ist diese Schicht 7 mit Magnesium dotiert. Zwischen den Schichten 6 und
20 7 kann eine weitere nicht gezeichnete GaN-Schicht angeordnet sein. Über der Schicht 7 ist eine Gallium-Schicht 8 angeordnet, auf der die andere Elektrode 9 der Vorrichtung vorgesehen ist.

25 Die rechte Seite des Schichtaufbaus zeigt schematisch angedeutet die Bandlücke der einzelnen Schichten zwischen dem Valenz- und dem Leitungsband.

Funktionell dient die Pufferschicht 3 als Wachstumsschicht,
30 die erforderlich ist, um auf dem Siliziumcarbit-Substrat 1 die LED-Struktur aufwachsen zu können. Die weitere Aluminium-Gallium-Nitrid-Schicht 4 zwischen den Schichten 3 und 5 hat einen sich in Richtung der Gallium-Nitrid-Schicht 5 hin an-

dernden Aluminiumgehalt. Die Gallium-Nitrid-Schicht 5 ist vorzugsweise siliziumdotiert und dient dem Auswachsen von Defekten. Die über der aktiven Schicht 6 angeordnete Schicht 7 aus magnesisumdotiertem Aluminium-Gallium-Nitrid dient als Elektronenbarriere.

Dieser grundsätzlicher Aufbau der Figur 1a kann standardmäßig für Aluminium-Indium-Nitrid (LEDs) verwendet werden.

Figur 1b ist eine vergrößerte Darstellung der aktiven Schicht 6 gemäß der Erfindung. Die Schicht mit der Quantentopf-Struktur 6 ist aufgebaut, indem zwischen einzelnen Gallium-Nitrid- (GaN-) Schichten 6b Schichten 6a aus Gallium-Indium-Nitrid (GaInN) angeordnet sind. Die eigentlich aktive, d.h. lichtabstrahlende Schicht 6c aus Gallium-Indium-Nitrid (GaInN) schließt sich an die oberste Gallium-Nitrid-Schicht 6b an.

Wie ersichtlich, wechseln sich unterschiedlich dicke Schichten 6a und 6b ab. Die dünneren Schichten 6a aus Indium-Gallium-Nitrid und die dickeren Schichten 6b aus Gallium-Nitrid bilden dabei Übergitter, bei denen die Töpfe 6a dünn sind, d. h. dünner als 3 nm und die Schichten 6b 5nm und darüber. Die Herstellung der Schichten erfolgt durch Gasphasen- oder Molekularstrahlepitaxie. Dabei ist ein langsames Wachstum von 1-2 nm/min bei niedrigen Temperaturen um 700 C° vorgesehen. Der Indiumpartialdruck liegt niedrig bei etwa 30%.

Der Indiumgehalt liegt unter 24%, vorzugsweise jedoch unter 20 % und ist deshalb vorzugsweise gegenüber üblichen Indiumgehalten reduziert. Die in der Figur nur einmal gezeichneten Schichten 6a und 6b können mehrmals übereinander angeordnet sein, vorzugsweise wiederholt sich die Struktur x=3mal. An

die oberste Gallium-Nitrid-Schicht 6b schließt sich die eigentlich aktive, d. h. leuchtende Schicht 6c aus Indium-Gallium-Nitrid an.

- 5 Vorzugsweise kann vorgesehen sein, die Quantentopfstruktur 6a, 6b mit Silizium in der Konzentration 10^{17} bis 10^{18}cm^{-3} zu dotieren. Damit ergibt sich noch einmal eine deutliche Verbesserung im Vergleich zu einer undotierten Struktur.
- 10 Figur 2 zeigt die Energieverhältnisse für das Valenzband VB und das Leitungsband CB. In Ordinatensrichtung ist die Elektronenenergie aufgetragen, in Abszissenrichtung sind die Quantentöpfe mit einer Breite, die der Schichtdicke entsprechen, aufgetragen. An die oberste Gallium-Nitrid-Schicht 6b
- 15 schließt sich die tatsächlich aktive Schicht 6c an.

Figur 3b zeigt demgegenüber das Valenzband mit dickeren Quantentöpfen aus Gallium-Indium-Nitrid als bei der Erfindung. Durch die Schrägen angedeutet, ist der Effekt der piezoelektrischen Felder, die sich durch die Verspannungen ergeben.

20

Gegenüber einer Struktur der Figur 3 erreicht die Erfindung mit den dünneren Schichten aus Gallium-Indium-Nitrid einen effektiven Verspannungsabbau.

25

Durch die erfindungsgemäße Verwendung von GaInN/GaN-Übergittern mit dünnen Töpfen (bis ca. 1 nm Quantentopfbreite) bei einem Schichtaufbau gemäß Figur 1 und Quantentopf-Verhältnissen gemäß Figur 2 kann die Flußspannung deutlich

30 gesenkt werden und dabei die hohe interne Quanteneffizienz der Indium-Gallium-Nitrid-basierten optischen Halbleitervorrichtung erhalten werden. Die sich sonst ausbildenden Piezofelder werden ganz vermieden oder wirken sich praktisch nicht

mehr aus. Im Vergleich zu herkömmlichen Einfach-Quantentopf-Strukturen, bei denen vor dem aktiven Topf kein Gallium-Indium-Nitrid-Übergitter abgeschieden wird, zeigt der erfindungsgemäße Vorrichtungsaufbau einen verdoppelten Konversionswirkungsgrad. Im Vergleich mit bekannten Übergitterstrukturen hat der erfindungsgemäße Vorrichtungsaufbau eine um $>0,5V$ gesenkte Flußspannung.

Unter Übergitter versteht man allgemein eine Aufeinanderfolge von nur wenigen Atomlagen dicken Schichten. Das Übergitter wird vom aktiven Trog durch eine GaN-Barriere getrennt ($>5nm$). Die Silizium-Dotierung der Quantentopfstruktur ist deutlich verbessert im Vergleich zur undotierten Struktur. Im Vergleich zu SQW Strukturen, vor deren aktivem Quantentopf kein GaInN Übergitter abgeschieden wurden, konnte der Konversionswirkungsgrad verdoppelt werden.

Durch die Kombination von dünnen, auch indiumarmen, optisch inaktiven Quantentrögen („Pre-Wells“) mit einem aktiven Quantentopf 6c kann das Emissionsverhalten der bisher bekannten Mehrfach-Quantentopf-Strukturen erhalten und die Flußspannung gesenkt werden. Die dünnen GaInN-Quantentöpfe verbessern die Qualität des aktiven Quantentopfs, während durch die geringe Schichtdicke der „Pre-Wells“ und ihrem niedrigen Indiumgehalt die Ausbildung von störenden Piezofeldern vermieden wird. Die Flußspannung wird daher durch diese Nukleationsschicht nicht erhöht.

Patentansprüche

1. Optische Halbleitervorrichtung mit einer Mehrfach-Quantentopf-Struktur, in der Topfschichten und Sperrschichten
5 aus verschiedenen Arten von Halbleiterschichten abwechselnd geschichtet sind,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß
die Topfschichten (6a) dünne Gallium-Indium-Nitrid-Schichten
und die Sperrschichten (6b) demgegenüber dickere Gallium-
10 Nitrid-Schichten sind und daß ein aktiver Quantentopf aus Gallium-Indium-Nitrid (6c) sich an die oberste Sperrschicht (6b) anschließt, wobei durch die Topfschichten (6a) und die Sperrschichten (6b) Übergitter gebildet sind.
- 15 2. Optische Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß
die Topfschichten (6a) dünner als 3nm sind und die Sperrschichten (6b) 5nm-dick oder dicker sind.

Fig. 1a

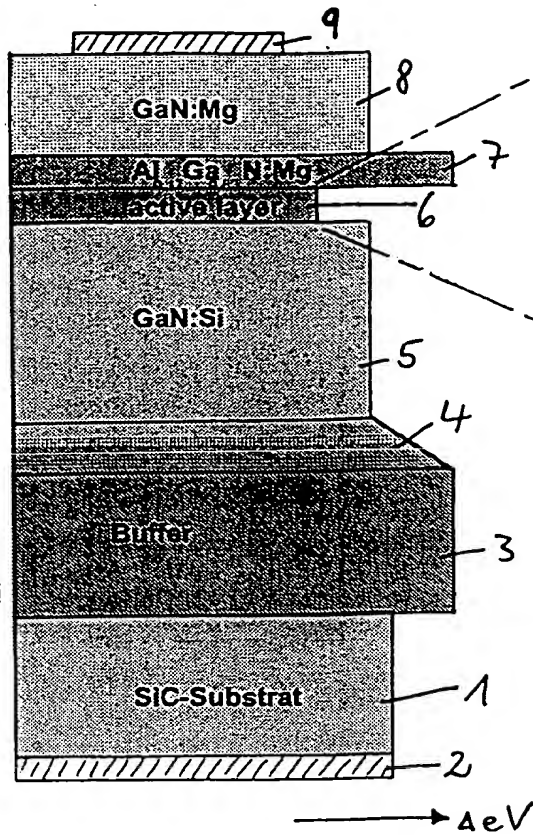


Fig. 1b

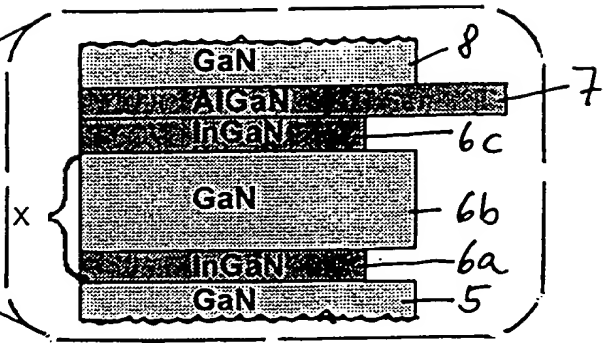


Fig. 2

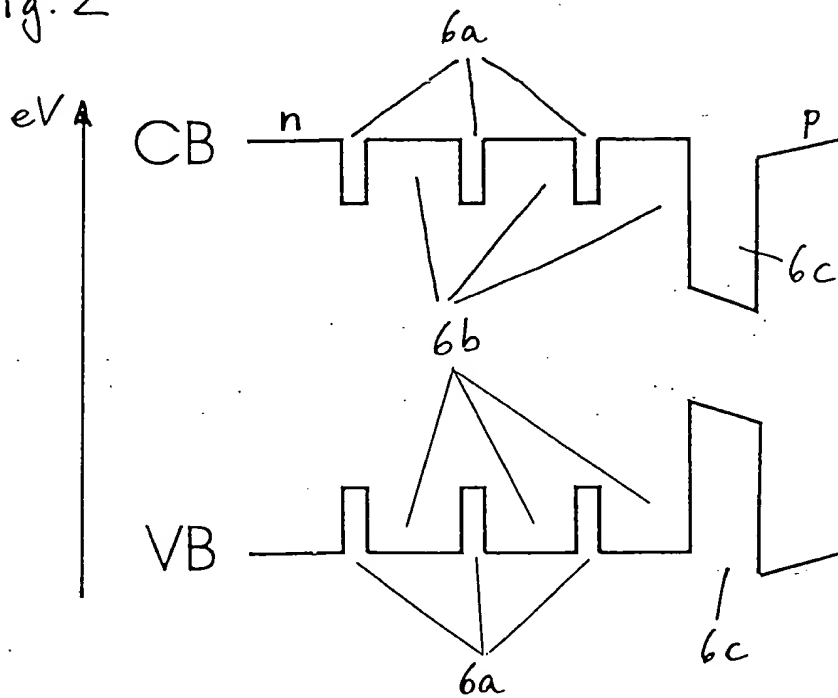


Fig. 3

